

УДК 004.8(075)

Ю.А. ЛЕЩЕНКО, О.В. МАЛЕЕВА, А.Б. ЛЕЩЕНКО

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПРЕЦЕДЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Рассматривается применение теории прецедентов для получения решений в системах поддержки принятия решений в задачах управления качеством приборостроительного производства. Разработка системы поддержки принятия решений для управления качеством в приборостроительном производстве на основе теории прецедентов позволяет повысить эффективность выявления дефектов в процессе производства, а также улучшить качество устранения этих дефектов за счет повторного использования накопленной информации о ранее встречавшихся эффективных решениях.

представление знаний, контроль производства, формальное описание производства, теория прецедентов

Введение

Нахождение дефектов производства радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) традиционными методами (визуальный контроль, ручная прозвонка, функциональный контроль) давно уже не дает желаемых результатов. В настоящее время причины возникновения дефектов определяются специалистами (экспертами), что требует большого количества высококвалифицированных специалистов на всех этапах производства РЭА [1]. Поэтому создание систем поддержки принятия решений (СППР) для управления качеством производства РЭА является актуальным.

Постановка задачи

В процессе производства РЭА необходимо накапливать знания, умения, навыки нахождения неисправностей для своевременного принятия решений. Одним из аспектов этого процесса является накопление в памяти системы стандартных, типовых, т.е. часто повторяющихся ситуаций и соответствующих им эффективных решений. Эффективность обеспечивается решением задач оптимизации эвристическими методами «проб и ошибок», результатами моделирования, экспериментов. В целом, это позволяет для стандартных или близких к

ним, ранее встречавшимся ситуациям, формировать эффективные решения, пропуская или минимизируя промежуточные операции, связанные с затратами времени, интеллектуальных и материальных ресурсов. Такая ситуация характерна для любых сфер человеческой деятельности. В связи с этим предлагается формализация опыта поиска неисправностей и на этой основе автоматизация процесса формирования стандартных решений.

Работы в этом направлении начались давно [2], но понимание универсальности и широких возможностей подхода привело к созданию и быстрому развитию «теории прецедентов» известной еще как «Case-Based Reasoning» (CBR), т.е. метод рассуждений на основе прецедентов.

По определению Р. Шенка «CBR – это способ решения новых проблем путем адаптации решений, которые использовались ранее в аналогичных ситуациях» [2].

Метод CBR имеет свои преимущества и недостатки по сравнению с другими методами получения решений. В качестве преимуществ можно выделить следующее:

– легкость приобретения знаний (в противоположность системам, основанным на правилах). Создание системы, основанной на правилах, требует

таких трудоемких этапов как получение, формализация и обобщение экспертных знаний, верификация системы на корректность и полноту. В CBR-системах приобретение знаний происходит путем формального описания случаев из практики (нет необходимости обобщения и вытекающей отсюда угрозы переобобщения);

– возможность объяснения полученного решения (в противоположность системам, основанным на нейронных сетях). CBR-система может объяснить полученное решение путем демонстрации успешного прецедента (ов) с отражением показателей сходства и рассуждений, использовавшихся при адаптации прецедента к новой ситуации. Такое объяснение может быть эффективней, чем объяснения, выдаваемые системами, основанными на правилах, которые иногда выдают очень длинные последовательности рассуждений, а сами правила конечному пользователю могут казаться неочевидными или слишком сложными;

– возможность работы в предметных областях, которые невозможно полностью понять, объяснить или смоделировать;

– возможность обучения в процессе работы. Причем обучение будет происходить только в определенных направлениях, которые реально встречаются на практике и востребованы (нет избыточности);

– возможность избежать повторения ошибки (знания о сбоях и их возможных причинах во избежание их появления в дальнейшем);

– возможность получения решений путем модификации прецедентов позволяет уменьшить объем вычислений в предметных областях, где генерация решения «с нуля» требует больших усилий.

Основными недостатками являются:

– применимость только в областях, где выполняется принцип регулярности и имеет место повторяемость видов задач. Если решаются принципиально новые задачи или решения сходных задач раз-

личны, то CBR-метод неприемлем;

– некомпактное (без обобщения) хранение знаний (опыта);

– сложность и специфичность процессов поиска подобных случаев и адаптации решения.

Прецедент представляет собой информационный блок, включающий в себя базовую ситуацию и соответствующее ей решение.

В процессе профессиональной деятельности в некоторой области формируются проблемно-ориентированные прецеденты, которые накапливаются в хранилище, в качестве которого могут выступать традиционные СУБД, специализированные серверы знаний, многомерные базы данных и т.д. Ситуация, для которой сформирован прецедент, в дальнейшем считается опорной или базовой [3].

При возникновении новой проблемной, т.е. требующей решения ситуации, из хранилища прецедентов извлекается прецедент, базовая ситуация которого совпадает или близка к проблемной.

Прецедентное решение используется в качестве прототипа решения для новой ситуации. Оно может быть использовано без изменений или в качестве прототипа решения для новой ситуации. В последнем случае формируется новый прецедент.

Если подходящий прецедент отсутствует в хранилище, то задача решается традиционными методами, а полученные результаты образуют новый прецедент.

Математические модели и аппаратно-программные средства реализации прецедентного метода принятия решений образуют специализированную СППР (рис. 1).

Процесс функционирования прецедентных СППР можно представить в виде CBR-цикла (рис. 2), состоящего из четырех основных фаз [4]:

1) выбор из хранилища наиболее уместного прецедента или множества прецедентов на основе заданного отношения подобия;

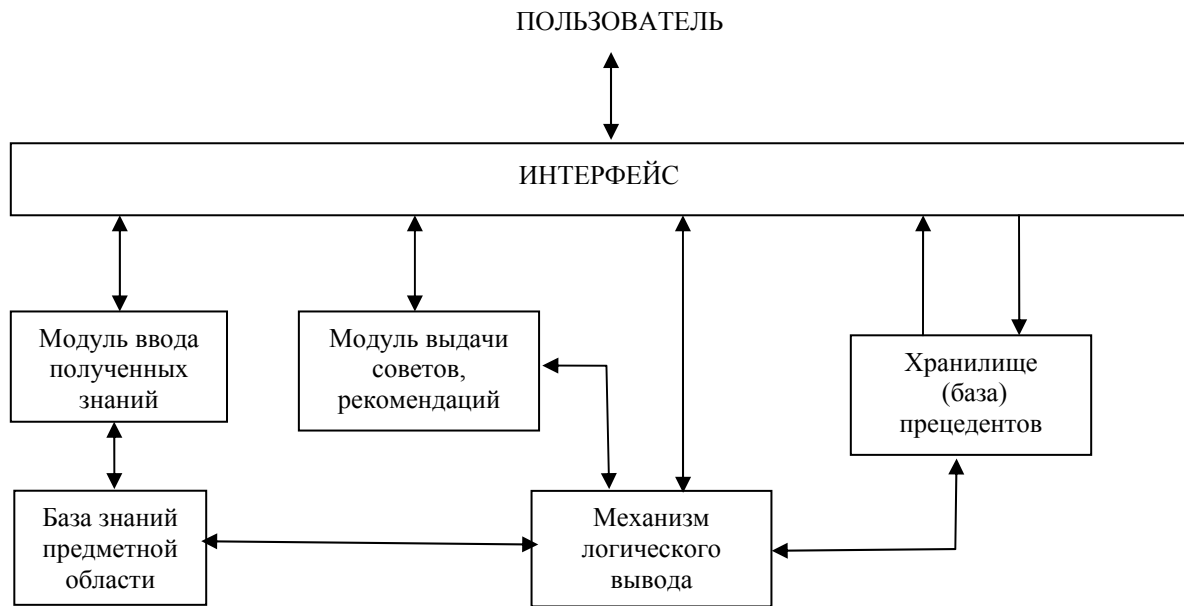


Рис. 1. Структура системы поддержки принятия решений

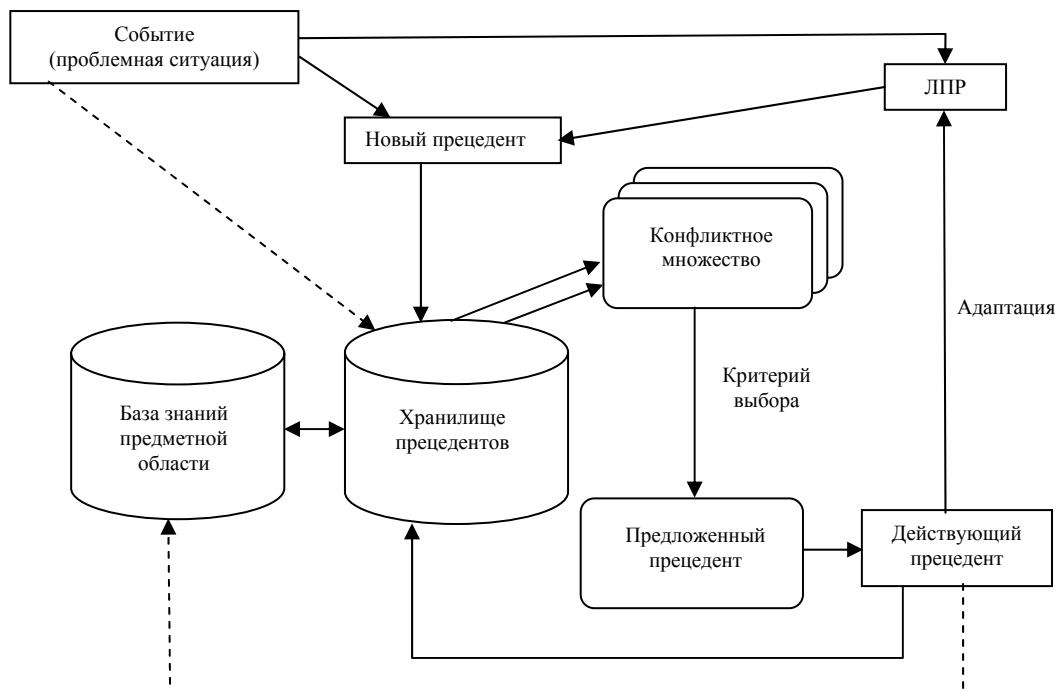


Рис. 2. Функционирование прецедентной СППР

2) использование выбранных прецедентов для принятия решения поставленной задачи;

3) пересмотр и коррекция (адаптация) в случае необходимости принимавшихся ранее в выбранных прецедентах решений;

4) сохранение в хранилище принятого решения и сложившейся ситуации в качестве нового прецедента или соответствующее изменение выбранного прецедента, что может быть полезным в дальнейшем при решении аналогичных задач.

Обычно CBR-цикл выполняется при непосредственном взаимодействии с лицом, принимающим решение (ЛПР). Многие прецедентные системы только извлекают из хранилища наиболее подходящие прецеденты и оставляют процесс адаптации на выбор ЛПР, поскольку автоматизация процесса адаптации является сложной задачей и практически не поддается обобщению, а иногда в адаптации нет необходимости, так как выбранные прецеденты содержат достаточно информации для принятия решения.

Если же адаптация необходима, то для ее проведения можно использовать базу знаний предметной области, содержащую набор необходимых фактов, правил и методов индуктивного и (или) абдуктивного машинного обучения.

Построение СППР прецедентного типа предполагает решение следующего круга задач:

- разработка способа представления знаний о ситуации и возможных решениях;
- разработка метода выбора прецедентов;
- разработка метода идентификации и адаптации решений;
- разработка метода хранения и индексации прецедентов.

Так как проблема выбора подходящего прецедента является одной из самых важных в таких системах, то естественно искать подходящий прецедент в той области пространства поиска, где находятся решения сходных проблем. Но как определить, какие именно решения считать сходными?

Целью данной статьи является использование теории прецедентов при разработке СППР для управления качеством в приборостроительном производстве. Использование теории прецедентов позволяет повысить эффективность выявления дефектов в процессе производства, а также улучшить качество устранения этих дефектов за счет повторного использования накопленной информации об эффективных решениях и ранее встречавшихся ситуациях [2, 5].

Поиск решения в СППР для управления качеством

Эффективность поиска прецедентов во многом зависит от того, по каким признакам организован индекс в базе прецедентов. Это требует хороших знаний о предметной области и цели решения проблемы. Проблема выбора наилучшего индекса можно привести к четырем свойствам:

1. Направленность: индексы должны быть направлены на решение сложившейся ситуации.
2. Абстрактность: индексы должны быть достаточно абстрактны, чтобы прецедент мог быть использован в разных запросах.
3. Конкретность: индексы должны быть распознаваемы в других ситуациях без дальнейшей обработки.
4. Полноценность: индексы должны быть способны дифференцировать прецеденты.

Когда прецеденты извлечены, выбирается из них наиболее близкий к решению поставленной задачи (устранению дефекта). Для этого используется метод "ближайшего соседа" [6]. В его основе лежит способ измерения степени близости прецедента и текущего случая по каждому признаку.

Введем метрику на пространстве всех признаков. В пространстве определяется точка, соответствующая текущему случаю, и в рамках этой метрики находится ближайшая к ней точка из точек, представляющих прецеденты. Прогноз делается на основе

нескольких ближайших точек, а не одной. Такой метод более устойчив, поскольку позволяет сгладить отдельные выбросы, всегда присутствующие в данных.

Каждому признаку назначают вес, учитывающий его относительную ценность. Полностью степень близости прецедента по всем признакам можно вычислить, используя обобщенную формулу вида:

$$\Psi_{ik} = \frac{\sum_j w_j \text{sim}(x_{ij}, x_{kj})}{\sum_j w_j},$$

где w_j – вес j -го признака; sim – функция подобия (метрика); x_{ij} и x_{kj} – значения признака x_j для текущего случая (i -го события) и k -го прецедента, соответственно.

После вычисления степеней близости все преце-

денты выстраиваются в единый ранжированный список. Выбор метрики (или меры близости) является основным моментом, от которого решающим образом зависит поиск подходящих прецедентов. Он должен отвечать конкретной задаче с учетом главных целей исследования, физической и статистической природы используемой информации и т.п.

Пусть имеются образцы X_i и X_k в N -мерном пространстве признаков (неисправностей). Основные метрики, традиционно используемые при выборе прецедентов, представлены в табл. 1.

После того как был выбран подходящий прецедент, при поиске решения для целевой проблемы выполняется адаптация – модификация имеющегося в нем решения с целью его оптимизации.

Таблица 1

Основные типы метрик

Наименование метрики	Тип признаков	Формула для оценки меры близости (метрики)
Эвклидово расстояние	Количественные	$d_{ik} = \left(\sum_{j=1}^N (x_{ij} - x_{kj})^2 \right)^{\frac{1}{2}}$
Манхэттенская метрика	Количественные	$d_{ik}^{(1)} = \sum_{j=1}^N x_{ij} - x_{kj} $
Мера сходства Хэмминга	Номинальные (качественные)	$\mu_{ij}^H = \frac{n_{ik}}{N},$ где n_{ik} – число совпадающих признаков у образцов X_i и X_k .
Мера сходства Роджерса-Танимото	Номинальные шкалы	$\mu_{ij}^{R-T} = n_{ik} \left(n_i + n_k - n_{ik} \right)^{-1},$ где n_i, n_k – число совпадающих единичных признаков у образцов X_i и X_k соответственно; n_{ik} – общее число единичных признаков у образцов X_i и X_k
Расстояние Махаланобиса	Количественные	$d_{ik}^M = \left(x_{ij} - x_{kj} \right)^T W^{-1} \left(x_{ij} - x_{kj} \right),$ где W – ковариационная матрица выборки $\tilde{O} = \{ \tilde{O}_1, \tilde{O}_2, \dots, \tilde{O}_n \}$
Расстояние Журавлева	Смешанные	$d_{ik} = \sum_{j=1}^N I_{ik}^j,$ где $I_{ik}^j = \begin{cases} 1, & \text{если } x_{ij} - x_{kj} < s; \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$

Если существуют алгоритмы адаптации, то они обычно предполагают наличие зависимости между признаками прецедентов и признаками содержащихся в них решений.

Такие зависимости могут задаваться пользователем при построении базы прецедентов или обнаруживаться в базе автоматически.

Процесс модификации решения при его адаптации к текущему случаю включает ряд шагов, от простой замены некоторых компонентов в имеющемся решении, корректировки или интерполяции признаков (числовых) или изменения порядка операций, до более существенных. Имеются и другие подходы:

- повторная конкретизация переменных в существующем прецеденте и присвоение им новых значений;
- уточнение параметров;
- поиск в памяти.

Обратная связь, возникающая при сохранении решений для новой проблемы, означает, что вывод по прецедентам по своей сути является "самообучающейся" технологией, благодаря чему рабочие характеристики каждой базы прецедентов с течением времени и накоплением опыта непрерывно улучшаются.

Разработка баз прецедентов по контролю качества в приборостроительном производстве происходит на естественном языке, т.е. не требует программирования, и может быть выполнена наиболее опытными сотрудниками – экспертами, работающими непосредственно в производстве РЭА.

Одной из главных задач прецедентной СППР является накопление и упорядочение достаточно большого и приемлемого для принятия решений множества прецедентов. Для этого необходим алгоритм формирования базы прецедентов. Он включает в себя следующие этапы:

1) задать веса признаков для определения уровня значимости прецедента в рассматриваемой базе;

2) провести разбиение прецедентов по выявленным признакам;

3) выбрать из хранилища (базы) прецедентов требуемое множество прецедентов на основе критерия подобия ситуаций.

Приведем формальное определение прецедента для описания поставленной проблемы:

Прецедент p можно представить в виде пары $\langle s, r \rangle \in \mathcal{P} = S \cdot R$, состоящей из ситуации $s \in S$ и связанного с ней решения $r \in R$.

Сама ситуация $s \in S$ задается с помощью множества формул специализированного языка L . Любой ситуации s могут соответствовать несколько решений.

Таким образом, допустимы прецеденты вида $\langle s, r \rangle$ и $\langle s, r' \rangle$, которые различны в случае, если $r \neq r'$.

Данные в СППР представлены множеством прецедентов P (при однозначном выборе решений):

$$P = \{ \langle s_1, r_1 \rangle, \langle s_2, r_2 \rangle, \dots, \langle s_n, r_n \rangle \}. \quad (1)$$

Каждый прецедент p_i будем рассматривать как условную импликацию

$$s_i \Rightarrow r_i, \quad (2)$$

таким образом, если задана некоторая ситуация $s \approx s_j$ и существует прецедент $p_j = \langle s_j, r_j \rangle$, можно утверждать, что r_j является приближенным (или правдоподобным) решением для ситуации s .

Более того, чем ближе ситуация s к ситуации s_j , тем правдоподобнее, r_j является решением для s .

Для нахождения степени близости ситуации s к ситуации s_j и соответственно, оценки близости решения r_j к искомому используется функция подобия ζ_i . На ее основе строится отношение подобия между прецедентами и выводится мера подобия sim .

Отношение подобия может быть построено только для множества входных факторов ситуации [7].

Система поддержки принятия решений представляет собой структуру $\langle P, sim_{\Omega}, K \rangle$, где P – хранилище прецедентов, sim_{Ω} – мера подобия, заданная на множестве интерпретаций Ω языка L , описывающего входные ситуации, K – множество формул языка L .

Множество формул K составляет некоторую базу знаний о предметной области, полученную экспертным путем. Для каждого прецедента p_i можно с помощью оценки подобия вычислить степень уместности решения r_i в ситуации, близкой к s_i . В случае, если для этого можно также использовать имеющиеся знания о предметной области, можно утверждать, что формула

$$K \rightarrow (s \rightarrow \diamond_{sim_i} s_i) \quad (3)$$

выполнима для класса ситуаций s_{p_i} .

Хранилище прецедентов P задает экстраполяцию отношения импликации для (2) и является базой знаний, содержащей приближенные импликации:

$$M^* = \{s_i \Rightarrow_{\zeta_i} r_i \mid (s_i, r_i) \in P\}.$$

Соответственно формула

$$M^* \rightarrow (s_i \Rightarrow_{\zeta_i} r_i) \quad (4)$$

также выполнима для класса ситуации s_{p_i} .

Итак, прецедентная система выполняет функцию вывода по аналогии:

$$\left\{ K \rightarrow (s \rightarrow \diamond_{sim_i} s_i) \right\}_{i=1 \dots n} \cup \{K, M^*, s\} \succ \diamond_{sim_i \otimes \zeta_i} r_i. \quad (5)$$

Заключение

Таким образом, применение CBR-технологии в СППР, основанной на теории прецедентов, существенно повышает достоверность принимаемых решений по устранению дефектов и позволяет улуч-

шить качество радиоэлектронной аппаратуры в приборостроительном производстве.

Литература

1. Лещенко А.Б., Сиора А.А., Лещенко Ю.А. Разработка знаниеориентированной модели принятия решений в приборостроительном производстве // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2004. – № 1 (5). – С. 69-75.
2. Джексон П. Введение в экспертные системы. – М.: Вильямс, 2001. – 624 с.
3. Нечипоренко О.А. Использование технологии CaseBased Reasoning в проектировании программных систем // Перспективные информационные технологии и информационные среды. – Таганрог, 2002. – № 3. – С. 27-32.
4. Sankar K. Pal, Simon C.K. Shiu. Foundations of Soft Case-Based Reasoning. – New Jersey: Wiley, 2004. – 344 p.
5. Карпов Л.Е., Юдин В.Н. Адаптивное управление по прецедентам, основанное на классификации состояний управляемых объектов // Труды института системного программирования РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citforum.fast.net.ua/consulting/BI/karpov/#13.#13>.
6. Петров Э.Г., Новожилова М.В., Гребенник И.В., Соколова Н.А. Методы и средства принятия решений в социально-экономических и технических системах: Учебн. пособие / Под ред. Э.Г. Петрова. – Херсон: ОЛДІ-плюс, 2003. – 380 с.
7. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: Теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 288 с.

Поступила в редакцию 4.03.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Илюшко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков.